

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИМЕНЯЕМОГО КАРЬЕРНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

*К.М. Басс, В.В. Кривда, Государственное ВУЗ «Национальный горный университет»,
Украина*

Рассмотрены основные направления повышения эффективности системы разработки при отработке глубоких горизонтов карьера. Основным направлением повышения эффективности отработки глубоких горизонтов карьера является увеличение углов откоса бортов карьера, что позволяет при минимальном объеме вскрышных работ увеличить площадь вскрытых запасов. Установлено, что эффективность отработки глубоких горизонтов карьера может быть улучшена путем усовершенствования эксплуатационно-технических характеристик применяемых для транспортирования горной массы автосамосвалов.

Введение. Известно, что эффективность принятой системы разработки оценивается по совокупности горнотехнических и эколого-экономических факторов, обеспечивающих производственную мощность карьера, соответственно, основными горнотехническими факторами, определяющими производственную мощность карьера, являются:

- пропускная способность транспортных коммуникаций;
- количество и производительность добычных экскаваторов;
- протяженность добычного фронта;
- скорость понижения горных работ;
- площадь подготовленных к выемке запасов, обеспечивающих заданную (принятую) производительность карьера по руде.

Одним из основных факторов, предопределяющим достижение производственной мощности карьера, является площадь вскрытых (готовых к выемке) запасов.

Экологический эффект в общем случае можно выразить минимальным ущербом окружающей среде, который достигается при минимальной площади нарушенной поверхности, что возможно только при увеличении углов откосов бортов карьера.

Каждый из перечисленных факторов эффективности работы карьера при принятой системе разработки, в той или иной мере зависит от коэффициента вскрыши и площади готовых к выемке запасов. Таким образом, за основные параметры эффективности работы карьера приняты коэффициент вскрыши и площадь готовых к выемке запасов.

Известно, что параметры систем разработки зависят от горно-геологических условий, применяемого вскрышного и добычного оборудования, транспортного комплекса и его параметров.

Повышение эффективности открытой разработки добычи руд на глубоких горизонтах может быть достигнуто при увеличении углов откоса бортов карьеров. Увеличение углов откоса бортов карьера позволяет снизить объем вскрыши в его контурах или увеличить объем запасов.

Рассмотрим в общем виде варианты увеличения угла откоса нерабочего борта карьера. На современном этапе разработки железорудных месторождений нерабочие борта карьеров имеют угол откоса с максимальным значением 36-38°. При отработке рудных залежей со скальной вскрышей принципиально возможно доведение угла откоса нерабочего борта до значений 50-60°. В этом случае могут быть следующие решения.

Повышение углов откоса нерабочих бортов карьеров в пределах выделенных и утвержденных запасов полезного ископаемого на данном карьере. Тогда увеличение углов откоса нерабочих бортов позволит уменьшить объем вскрышных пород в контурах карьера и тем самым снизить коэффициент вскрыши.

Повышение углов откоса нерабочих бортов в пределах выделенного горного отвода позволяет увеличить граничную глубину карьера и тем самым увеличить количество

вскрытых запасов в его контурах.

Повышение углов откоса нерабочих бортов карьеров требует решения двух главных проблем. Первая. Разработка технологии постановки бортов карьеров в нерабочее состояние с обеспечением безопасности и эффективности горных работ. Вторая. Обеспечение устойчивости борта карьера при угле его откоса 50-60°, что может потребовать весьма ощутимых материальных затрат. В данной работе вопросы обеспечения устойчивости бортов карьера при повышении углов их откоса не рассматриваются, так как являются отдельной важной научно-технической задачей. Далее подразумевается, что при повышении углов откоса бортов карьера применяются эффективные способы обеспечения их устойчивости.

На рис. 1 представлена отработка глубоким карьером рудного тела, представленного крутопадающей залежью.

Если увеличить угол откоса нерабочего борта в пределах утвержденных запасов, то существенно уменьшается объем вскрышных пород в карьере.

Объем вскрыши, на величину которого уменьшится общий ее объем в карьере, можно определить по выражению.

$$V_{\text{в}} = (H'_K - H_K) \operatorname{ctg}(\beta - \gamma) \left[\left(\sqrt{(H'_K \operatorname{ctg} \gamma')^2 + (H'_K)^2} + \sqrt{(H_K \operatorname{ctg} \beta)^2 + H_K^2} \right) \right], \quad (1)$$

где H_K , H'_K — глубина карьера, соответственно при запроектированных углах откоса нерабочего борта и увеличенных, м;

γ , γ' — углы нерабочих бортов карьера согласно проекта и увеличенные, град;

β — угол падения пласта, град. При этом в пределах горного отвода освобождается площадь, которая может быть уже в настоящем использована для размещения на ней отвалов. Однако при таком варианте только уменьшается коэффициент вскрыши, но не освобождаются запасы.

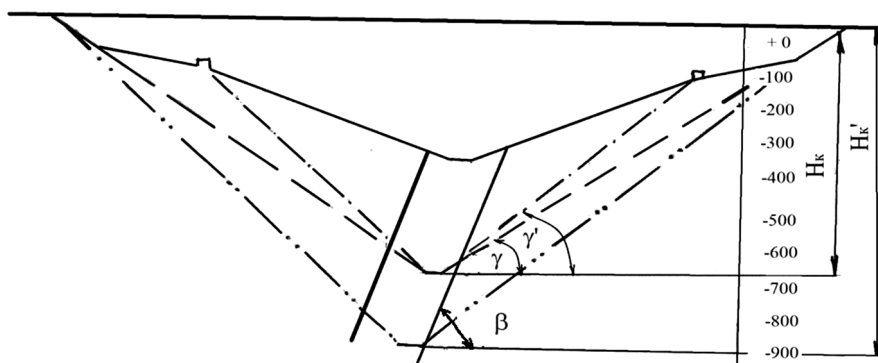


Рис. 1— Развитие горных работ при отработке крутопадающей залежи с увеличением угла откоса нерабочего борта карьера

Если увеличить угол откоса в пределах горного отвода (см. рис. 1), то кроме прироста запасов получаем и дополнительный объем вскрышных пород. Их величину можно определить по выражениям:

- прирост запасов

$$V_{\text{л.з.}} = (H'_K - H_K) \cdot m \cdot L \quad (2)$$

- объем вскрышных пород

$$V_{\text{д}} = H_K^2 (\operatorname{ctg} \gamma' - \operatorname{ctg} \gamma) L \quad (3)$$

где L — длина карьерного поля на данном горизонте, м;

m — мощность пласта, м;

l — длина прироста запасов по падению залежи, м.

Общий объем вскрыши при таком варианте составит

$$V_{в.д.} = 0,5 \left(\frac{H'_к}{\sin \gamma'} + \frac{H_к}{\sin \gamma} \right) \cdot (H'_к - H_к) \cdot \lg(\gamma' - \beta) \cdot L \quad (4)$$

Величина дополнительных запасов или снижение объемов вскрыши, в контурах карьера, зависит, главным образом, от горнотехнических условий месторождения и физико-механических свойств пород.

При варианте, когда угол откоса нерабочего борта нецелесообразно увеличивать (то есть его увеличение не поспособствует вскрытию запасов) или увеличить невозможно (достигнут максимум) необходимо регулировать угол откоса рабочего борта карьера. Далее рассмотрено влияние горнотехнических и горно-геологических параметров на эффективность принятой системы разработки.

Углы откосов рабочих бортов карьера зависят от принятых параметров системы разработки, таких как: высота уступа, ширина рабочей площадки, угол откоса уступа и определяется по известному выражению

$$\alpha_{р.} = \arctg \left(\frac{\sum h_y}{\sum Ш_{р.п.} + \sum h_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_y} \right) \quad (5)$$

где $\alpha_{р.}$ - угол откоса рабочего борта, град;

h_y - высота уступа, м;

$Ш_{р.п.}$ - ширина рабочей площадки уступа, м;

α_y - угол откоса уступа, град.

Таким образом, исходя из выражения (5) угол откоса рабочего борта можно увеличить путем увеличения высоты и угла откоса уступа или уменьшения ширины рабочей площадки.

На графике (рис. 2) для условно принятых параметров системы разработки показано их влияние на угол откоса рабочего борта карьера.

Приведенные на графике 2 данные свидетельствуют, что:

- при постоянной глубине карьера, ширине и количестве размещенных на рабочем борту рабочих площадок и высоте уступа угол откоса рабочего борта прямо зависит от угла откоса уступа и изменяется по параболической функции;

- при постоянных глубине карьера, угле откоса уступа, ширине и количестве рабочих площадок угол откоса рабочего борта карьера не зависит от высоты уступа, а может изменяться только при изменении остальных параметров;

- при постоянных глубине карьера, угле откоса уступа и его высоте и количестве рабочих площадок угол откоса рабочего борта связан с шириной рабочей площадки обратной гиперболической зависимостью.

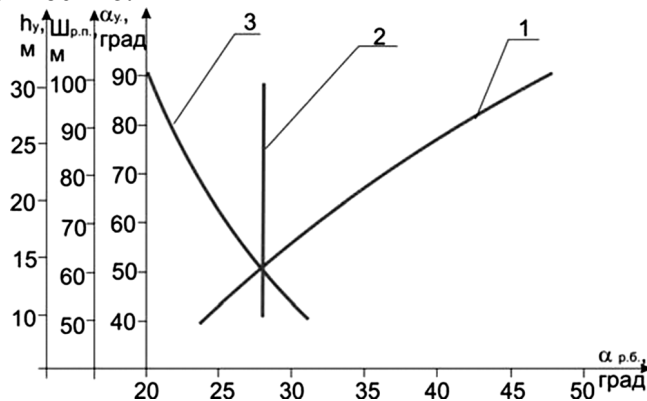


Рис. 2 – Зависимость значения угла откоса рабочего борта от: 1 – угла откоса уступа; 2 – высоты уступа; 3 – ширины рабочей площадки

Поскольку высота и угол откоса уступа в большей мере определяются физико-механическими свойствами пород, а также параметрами применяемого выемочного

(добычного) оборудования, то далее рассмотрено влияние параметров, определяющих ширину рабочей площадки, на угол откоса рабочего борта карьера.

Ширина рабочей площадки, при которой не учитывается экскаваторная заходка, в соответствии с [1] определяется из условия размещения горного и транспортного оборудования, а также необходимых транспортных коммуникаций, в общем виде определяется по выражению

$$Ш_{р.п.} = B + C + Ш_{а.д.} + S + Z, \quad (6)$$

где $Ш_{р.п.}$ - ширина рабочей площадки;

B – ширина развала горной массы или ширина заходки экскаватора;

C – безопасное расстояние от нижней бровки развала до транспортной полосы;

$Ш_{а.д.}$ – ширина автодороги;

S – расстояние от полосы безопасности до транспортной полосы;

Z – ширина полосы безопасности (призмы возможного обрушения), определяется по выражению

$$Z = h_y (ctg \gamma + ctg \alpha_y), \quad (7)$$

где h_y – высота уступа;

γ – угол устойчивого откоса уступа ($\gamma=35 - 75^\circ$);

α_y – угол откоса уступа.

Размеры берм безопасности S и C регламентируются «Правилами безопасности...» [2] и являются величинами постоянными. Ширина заходки экскаватора B зависит от технических параметров применяемого экскаватора, а поскольку в данной работе не предусматривается смена (выбор) выемочного оборудования, то далее принимается постоянной.

С учетом выражения (7) ширина рабочей площадки (6) запишется в виде

$$Ш_{р.п.} = B + C + Ш_{а.д.} + S + h_y (ctg \gamma + ctg \alpha_y), \quad (8)$$

Ширина автодороги $Ш_{а.д.}$ зависит от технологических и технических характеристик применяемого автосамосвала. В соответствии с [3] ширина проезжей части автодороги определяется по формуле

$$Ш_{а.д.} = 2(a + y) + x, \quad (9)$$

где a – ширина автосамосвала, м;

x – ширина между кузовами встречных автосамосвалов, м, определяется по выражению

$$x = 2y, \quad (10)$$

y – ширина обочин, м, определяется по выражению

$$y = 0,5 + 0,05v, \quad (11)$$

где v – скорость движения автомобиля, км/ч.

После подстановки выражений (10) и (11) в (9) и математических преобразований ширина рабочей площадки равна

$$Ш_{а.д.} = 2(a + 0,1v + 1), \quad (12)$$

Таким образом, ширина рабочей площадки зависит от экскаваторной заходки, схемы маневрирования автотранспорта и элементов безопасности (см. выражение (8)). Она включает в себя ширину автодороги, которая прямо пропорционально зависит от ширины автосамосвала и скорости его движения.

Скорость движения автосамосвала по временным карьерным дорогам (грунтовые

поверхности) определяется нормами технологического проектирования [2] на основании тяговых характеристик и исходя из безопасных условий эксплуатации (см. табл. 1). Скорость движения на спуск в данной работе не рассматривается.

На основании данных табл. 1 построены графики зависимости скорости движения порожнего автосамосвала на подъем от приведенного уклона автодороги (см. рис.3), анализ которых свидетельствует о том, что скорость движения тем меньше, чем больший уклон дороги, т.е. зависимость обратная, гиперболическая. При этом скорость движения зависит от типа автосамосвала и его грузоподъемности.

Таблица 1 – Скорости движения автосамосвалов на подъем по дорогам с грунтовым покрытием, км/ч [2]

Приведенный уклон	Типы автосамосвалов (грузоподъемность)								
	Механическая трансмиссия		Гидромеханическая трансмиссия			Электромеханическая трансмиссия			
	МАЗ5516 (20 т)	КрАЗ 7133С4-021 (26 т)	БелАЗ 75404 (30 т)	БелАЗ 7547D (45 т)	БелАЗ3755 5 В (55 т)	БелАЗ 75145 (120 т)	БелАЗ 75131 (136 т)	БелАЗ 75216 (190 т)	БелАЗ 75306 (220 т)
+80‰	18/37	16/48	12/29	11/27	12/28	8/20	10/24	10/22	10/23
+100‰	15/33	13/41	8/25	9/23	10/24	7/17	9/20	9/19	8/20
+120‰	13/31	12/36	8/23	8/20	9/20	6/15	8/18	8/17	6/18

Примечание: в числителе приведена скорость движения с грузом, в знаменателе – без груза.

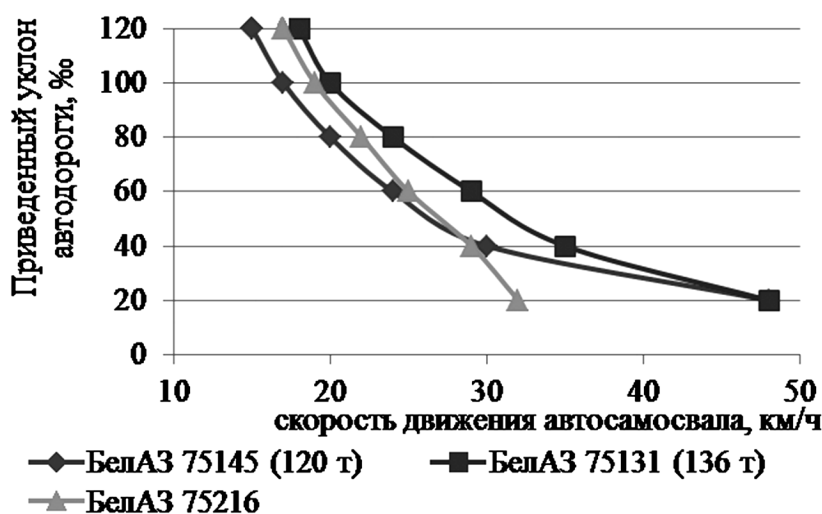


Рис. 3 – Зависимость скорости движения автосамосвалов от приведенного уклона дороги и грузоподъемности

Так как в пределах карьера автомобильная дорога проложена не по прямой линии, а с закруглениями, то на криволинейных участках ширина автодороги увеличивается на возможный по техническим характеристикам двойной радиус поворота автосамосвала.

Как уже было указано, на угол откоса рабочего борта оказывает влияние количество расположенных на нем рабочих площадок. При расположении на временно нерабочем борту транспортных коммуникаций (автодорог и перегрузочных пунктов) на его угол откоса также влияет количество петлевых съездов автодороги и ее ширина, что соответственно определяется дальностью транспортирования горной массы автосамосвалом, величиной продольного уклона и шириной автомобиля, так как

$$L = h_{\text{тр.}} / i, \quad (13)$$

где i – приведенный уклон автодороги;

$h_{\text{тр}}$ – высота подъема груза, для карьеров, применяемых только автотранспорт $h_{\text{тр}} = H$.

Исходя из выражения (13) можно сделать вывод, что длина транспортирования уменьшается при увеличении уклона и увеличивается с глубиной карьера (рис. 4).

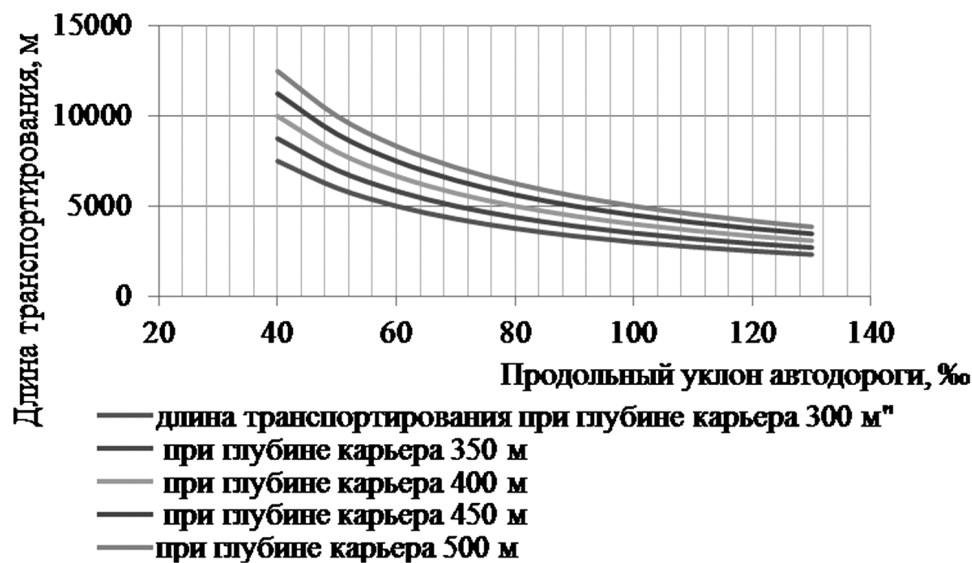


Рис. 4 – Зависимость дальности транспортирования горной массы от продольного уклона и глубины карьера

При планировании горных работ одним из основных вопросов является рациональное размещение перегрузочных пунктов и их минимальные размеры, с целью уменьшения консервации бортов карьеров и запасов полезного ископаемого.

Технология горных работ предусматривает работу автомобильного транспорта (сборочный транспорт) во вскрышной рабочей зоне, (которая непрерывно расширяется и углубляется с увеличением глубины карьера) с доставкой горной массы до перегрузочного пункта, и работу железнодорожного транспорта, который осуществляет подъем горной массы на поверхность. При этом создаются экскаваторные перегрузочные пункты в карьере, которые состоят из двух рабочих площадок: нижней и верхней.

На нижней площадке перегрузочного пункта осуществляют перегрузку горной массы экскаваторами из склада в средства железнодорожного транспорта. Ее ширина зависит от параметров склада (ширины заходки экскаватора), железнодорожных путей и обслуживающих ее коммуникаций, подъездных обслуживающих транспортных дорог, а также наличием объектов безопасности (защитные валы, ограждения, бермы).

Ширина нижней площадки $Ш_{\text{п.п.}}$ определяется по формуле [4]

$$Ш_{\text{п.п.}} = A + m_0 + m_1 + m_2 + n + Ш_{\text{п.ч.}} + O_6 + b_1 + i, \quad (14)$$

где H – высота уступа, не более высоты черпания экскаватора, м;

A – ширина экскаваторной заходки, м;

m_0 – минимальное расстояние от железнодорожного пути до нижней бровки откоса прямка (при угле откоса 75° и глубине прямка 1,5 м), м;

m_1 – минимальное расстояние от железнодорожного пути до опоры контактной сети, м;

m_2 – минимальное расстояние от опоры контактной сети до опоры линии электропередач, м;

n – минимальное расстояние от опоры линии электропередач до хозяйственной автодороги, м;

$Ш_{\text{п.ч.}}$ – ширина проезжей части хозяйственной автодороги, м;

O_6 – обочина дороги, м;

b – ширина насыпного ограждения по основанию высотой 1,6 м;
 b_1 – ширина насыпного ограждения по основанию высотой 1 м;
 h – высота защитного обвалования, м;
 i – ширина призмы обрушения уступов карьера; зависит от физико-механических свойств породы и определяется маркшейдерской службой карьера, не менее одного метра;
 a – расстояние от нижней бровки вышележащего уступа до кромки проезжей части автодороги или до края маневровой площадки, не менее одного метра;
 B_{min} – минимальная ширина маневровой площадки при двустороннем (встречном) движении, м;
 $h_{пр}$ – глубина прямка, не менее 1,5 м;
 L – длина разгрузочной площадки с поперечным уклоном не менее 3°, не менее 10 м.
 Минимальная ширина маневровой площадки при двустороннем (встречном) движении определяется по формуле

$$B_{min} = R_{H.3.} + l_a + L_6 + L_{II} + a + a + O_6, \quad (15)$$

где B_{min} – минимальная ширина маневровой площадки при двустороннем (встречном) движении, м;

l_a – длина автосамосвала, м;

L_{II}, L_6 – соответственно передний свес, база автосамосвала, м;

a – расстояние между стоящими на разгрузке и проезжающими вдоль фронта разгрузки автосамосвалами, м, $a \geq 0.5d$ (d – расстояние между стоящими на разгрузке автосамосвалами, при $R_{B.3.} \leq L_6 + l_a$, $d = R_{B.3.}$, м);

c – безопасное расстояние от автосамосвала до нижней бровки откоса вышележащего уступа, и до ограждения верхней бровки откоса нижележащего уступа, не менее одного метра;

Об – обочина автодороги, площадки для маневров, м;

$R_{H.3.}$ – радиус поворота наружного заднего колеса автосамосвала, м;

$$R_{H.3.} = \sqrt{R_p^2 - L_6^2}, \quad (16)$$

где R_p – рабочий радиус поворота переднего наружного колеса автосамосвала, м, $R_p = 1,3 \cdot R_{min}$;

R_{min} – минимальный радиус поворота переднего наружного колеса автосамосвала, м;

Длина маневровой площадки

$$L_{min} = ba \cdot n + d \cdot (n - 1), \quad (17)$$

где L_{min} – длина маневровой площадки, м;

b_a – ширина автосамосвала, м;

n – количество одновременно разгружающихся автосамосвалов.

Расстояние между стоящими на разгрузке автосамосвалами определяется по формуле

$$d = R_{B.3.} - \sqrt{R_{B.3.}^2 - (L_6 + l_a)}, \quad (18)$$

где $R_{B.3.}$ – радиус поворота внутреннего заднего колеса автосамосвала, м

$$R_{B.3.} = R_{H.3.} - b_a, \quad (19)$$

Анализ параметров автомобильно-железнодорожного перегрузочного пункта показал зависимость верхней площадки от схемы маневров и параметров маневровой площадки автосамосвала.

На основании проведенного анализа параметров, определяющих величину угла откоса рабочего борта, составлен перечень критериев для выполнения оценки функций влияния интегральным методом, которые включают:

- ширину рабочей площадки $Ш_{р.п.}$;
- ширину перегрузочного пункта $Ш_{п.п.}$;
- приведенный продольный уклон автодороги i ;
- угол откоса уступа α_y ;

- длину автодорог L ;
- ширину автосамосвала a ;
- скорость движения автосамосвала v ;
- грузоподъемность T и тяговые возможности автосамосвала S ;
- радиус поворота автосамосвала R ;
- глубину карьера H ;
- высоту подъема груза $h_{тр}$.

В следующем параграфе приведена методика выполнения интегральной оценки влияния и последующем – выполнена сама оценка.

Поскольку карьер является сложной геотехнической системой, параметры (в частности системы разработки) которой зависят от многих неоднородных факторов, как геометрических, горнотехнических, так и технологических и технических, а также между собой эти параметры также находятся в функциональной зависимости, то для выделения наиболее значимых из них необходим сложный анализ, который возможен с помощью интегральных оценок влияния.

Сущность данного метода заключается в присвоении каждому фактору (параметру) определенного балла B_i , означающем его значимость в данной системе. Для более точной оценки каждому параметру методом экспертной оценки присваивается весовой коэффициент k_i .

Оценкой P каждого параметра является произведение балла на весовой коэффициент [5].

Метод интегральных оценок широко применяется в различных областях деятельности, однако он, как и всякий другой, имеет некоторые погрешности.

Погрешности метода интегральной оценки вносятся при экспертной оценке параметров (балловыми шкалами оценки). Шкалы балловой оценки служат для перевода качественных характеристик в численные или для обобщения численных характеристик разнопараметренных величин. Наличие таких погрешностей в равной мере относится и к коэффициентам весомости.

Для рассматриваемой в данной работе сложной геотехнической системы – карьер в области установления наиболее важных параметров, влияющих на значение угла откоса рабочего борта карьера принимаем следующие оценки:

- количество баллов B соответствует частоте отображения данного параметра в формулах, влияющих на значение угла откоса рабочего борта карьера;
- весовой коэффициент зависит от того, стремится ли функция к минимуму ($k=1$) или к максимуму ($k=2$).

Для выявления влияния функции производится суммирование оценок всех ее аргументов [6].

Поскольку угол откоса борта карьера является только вспомогательной величиной в данных исследованиях и его увеличение только способствует приросту вскрытых запасов, то на основе прямой зависимости далее по тексту будут учитываться влияния выявленных оценок на площадь вскрытых запасов P .

Обобщенная оценка влияния автомобильного транспорта на параметры систем разработки глубоких карьеров.

Как было установлено на основе анализа влияющих параметров площадь готовых к выемке запасов прямо пропорционально зависит от угла откоса борта карьера, который в свою очередь обосновывается целым рядом (см. п. 2) факторов.

Представим площадь готовых к выемке запасов в виде функции

$$P = f(H, \alpha_{p.б.}, \alpha_{н.б.}), \quad (20)$$

Из рис.1 и выражений (2) и (20) следует, что при существующих углах откоса рабочих и нерабочего бортов с увеличением глубины карьера площадь вскрытых запасов будет сокращаться, а при увеличении углов откоса бортов карьера – увеличиваться.

С учетом неподвижности нерабочего борта, установленных зависимостей горнотехнических угла наклона рабочего борта карьера и технологических параметров площадь готовых к выемке запасов в виде сложной функции будет иметь вид

$$P = F(i, L, H, h_{mp}, \alpha_y, Ш_{р.п.}, Ш_{п.п.}, Ш_{а.д.}, v, T, S, R), \quad (21)$$

Исходя из выражений (2,5), (6), (8), (12) и (14) между $Ш_{р.п.}$, $Ш_{п.п.}$, $Ш_{а.д.}$, R и $\alpha_{р.б.}$ наблюдается обратная гиперболическая связь – с увеличением параметров рабочих, перегрузочных площадок и ширины автодорог угол откоса уменьшается, соответственно меньше P .

Связь между α_y , i , L , T , S и $\alpha_{р.б.}$ прямая, параболическая - с увеличением этих параметров угол откоса и соответственно площадь вскрытых запасов увеличиваются.

Выразим площадь вскрытых запасов в виде общей функции $P = f(x)$ и представим ее виде графика (рис. 7).

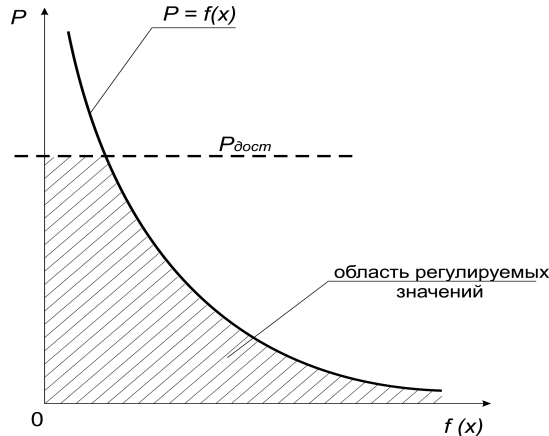


Рис.7 – График функции $P = f(x)$ в общем виде

На графике (рис. 7) максимально допустимая величина площади вскрытия запасов обозначена $P_{дост.}$. Рациональная площадь вскрытия запасов располагается в пределах области регулируемых значений Q , обозначенной на графике штриховкой, которая выражается в виде

$$Q = \int_0^{P_{дост.}} [p(P_{дост.}) - p(f)] df, \quad (22)$$

То есть, значение P стремится к максимуму, при достижении минимума значения функции f .

С учетом выявленных закономерностей (см. п.2) между функцией и аргументами, все входящие в выражение (21) аргументы в виде пределов для достижения максимуму функции. То есть $P \rightarrow \max$, при ширине рабочей площадки $Ш_{р.п.} \rightarrow \min$; ширине перегрузочного пункта $Ш_{п.п.} \rightarrow \min$; ширине автодороги $Ш_{а.д.} \rightarrow \min$; - приведенном продольном уклоне автодороги $i \rightarrow \max$; угле откоса уступа $\alpha_y \rightarrow \max$; длине автодорог $L \rightarrow \min$; ширине автосамосвала $a \rightarrow \min$; скорости движения автосамосвала $v \rightarrow \min$; грузоподъемности автосамосвалов $T \rightarrow \min$ тяговых возможностях автосамосвалов $S \rightarrow \max$; радиусе поворота автосамосвала $R \rightarrow \min$; глубине карьера $H \rightarrow \min$; высоте подъема груза $h_{тр.} \rightarrow \min$.

Каждый из вышеприведенных аргументов запишем в виде функции в общем виде с учетом выражений (6) – (14).

$$\left. \begin{aligned} Ш_{р.п.} &= f(a, R, T, \alpha_y) \rightarrow \min \\ Ш_{п.п.} &= f(a, T, R) \rightarrow \min \\ Ш_{а.д.} &= f(a, v, R, T) \rightarrow \min \\ i &= f(T, v, S) \rightarrow \min \\ L &= f(i, h_{тр.}) = f(T, v, S, h_{тр.}) \rightarrow \min \\ R &= f(a, T, S) \rightarrow \min \end{aligned} \right\}, \quad (22)$$

На основании системы (23) и с учетом положений об интегральной оценке влияния составляем таблицу 2, с присвоением каждому параметру балла значимости в системе и весовой функции.

Таблица 2 – Определение интегральных оценок

Единицы оценки	Оцениваемые аргументы						
	a	T	R	α_v	v	S	h_{TP}
Балл B_i	4	6	3	1	3	3	1
Весовая функция k_i	1	2	1	2	1	2	1
$\Pi = B_i \cdot k_i$	4	12	3	2	3	6	1

На основе суммарных оценок аргументов определяем оценки основных функций (23)

$$\left. \begin{aligned} \Pi_{ш.п.} &= \Pi_a + \Pi_T + \Pi_R + \Pi_{ay} = 21 \\ \Pi_{ш.п.} &= \Pi_a + \Pi_T + \Pi_R = 19 \\ \Pi_{ш.д.} &= \Pi_a + \Pi_T + \Pi_R + \Pi_v = 22 \\ \Pi_i &= f(T, v, S) \rightarrow \min \\ \Pi_L &= \Pi_v + \Pi_T + \Pi_S + \Pi_{h_{TP}} \end{aligned} \right\}, \quad (22)$$

и входящих в них аргументов R и i

$$\left. \begin{aligned} \Pi_R &= \Pi_a + \Pi_T + \Pi_S = 19 \\ \Pi_i &= \Pi_T + \Pi_S + \Pi_v = 21 \end{aligned} \right\}, \quad (23)$$

Как показал проведенный интегральный анализ наибольшее значение (влияние) на угол откоса борта карьера и соответственно площадь вскрытых запасов имеют ширина автодорог и длина транспортирования, в оценках которых наибольшее значение принадлежит продольному уклону и радиусу разворота автосамосвала.

Таким образом, для регулирования параметров системы разработки необходимо сократить длину автодорог путем увеличения продольного уклона и уменьшить ширину автодорог за счет уменьшения радиуса разворота автосамосвала, что дает возможность использовать оценку для дальнейшего проектирования систем разработки глубоких карьеров.

Список литературы

1. Ржевский В.В. Открытые горные работы. В 2 ч.: Технология и комплексная механизация. - М.: Недра, 1985. - 549 с.
2. СОУ – Н МПП 73.020 – 078 – 2 : 2008 Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина II. Т.1 Відкриті гірничі роботи. – Київ, Міністерство промислової політики України, 2008. – 714 с.
3. Дриженко А.Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы: моногр. / А.Ю. Дриженко. – Д.: НГУ, 2011. – 542 с.
4. Кривда В.В. Параметры автомобильно-железнодорожной перегрузочной площадки при использовании карьерного автотранспорта с механизмом изменения центра масс / В.В. Кривда // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов.- Днепропетровск:- 2013.- №111.- С. 58-66.
5. Sullivan L.P. Quality Function Deployment / L.P. Sullivan // Quality Progress, June 1986, pp. 39-50.
6. Амосов А.А. Вычислительные методы для инженеров / А.А. Амосов, Ю.А. Дубинский, Н.В. Копченкова. – М.: Высшая школа, 1994. – 544 с.